

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) Veröffentlichungsnummer: **0 455 993 A2**

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 91105556.4

(51) Int. Cl.⁵: **B60G 17/01, B60C 23/00**

(22) Anmeldetag: 08.04.91

(30) Priorität: 09.05.90 DE 4014876

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
13.11.91 Patentblatt 91/46

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE ES FR GB IT SE

(71) Anmelder: Bayerische Motoren Werke
Aktiengesellschaft
Patentabteilung AJ-3 Postfach 40 02 40
Petuelring 130
W-8000 München 40(DE)

(72) Erfinder: Hoppstock, Reiner, Dr.-Ing.
Am Stiftsbogen 59
W-8000 München 70(DE)
Erfinder: Schindler, Volker, Dr.
Max-Halbe-Strasse 14
W-8044 Unterschleißheim(DE)
Erfinder: Appel, Ulrich, Prof. Dr. Ing.
Klem-Pauli-Weg 8
W-8014 Neubiberg(DE)
Erfinder: Hohnheiser, Franz
Tutzing Strasse 2
W-8000 München 70(DE)

(74) Vertreter: Dirscherl, Josef
c/o Bayerische Motoren Werke
Aktiengesellschaft, Patentabteilung AJ-3,
Postfach 40 02 40, Petuelring 130
W-8000 München 40(DE)

(54) Verfahren und Einrichtung zum Ermitteln und/oder Überwachen des Zustands einer technischen Komponente eines Kraftfahrzeugs.

(57) Verfahren und Einrichtung zum Ermitteln und/oder Überwachen des Zustands einer technischen Komponente eines Kraftfahrzeugs, insbesondere der Reifen hinsichtlich des Reifenluftdruckes und/oder der Stoßdämpfer hinsichtlich von Stoßdämpferdefekten, durch Messen von in das Fahrwerk des Kraftfahrzeugs eingeleiteten Schwingungen an Bauteilen der Radaufhängung relativ zu der Karosserie. Zur Erschließung der Möglichkeit, den Zustand der technischen Komponente während des Fahrbetriebs, jedoch ohne Meßfühler an dieser selbst zu ermitteln, wird davon Gebrauch gemacht, daß der Zustand z.B. der Reifen sich auf das Schwingungsverhalten der Bauteile der Radaufhängungen auswirkt. Um Änderungen dieses Schwingungsverhaltens zu erfassen, werden Werte der insbesondere stochastisch angeregten Schwingungen von mit der technischen Komponente gekoppelten Bauteilen unterschiedlicher Radaufhängungen gemessen und diese ggf. umgerechneten Meßwerte nach Transformation in einen Spektralraum zu charakteristischen spektralen Kennwerten kombiniert, die mit zuvor in gleicher Weise ermittelten zugeordneten spektralen Kennwerten unter Bestimmung von Abweichungen in einem vorbestimmten fahrzeugspezifischen Frequenzbereich verglichen werden. Es wurde gefunden, daß der Zustand unterschiedlicher, mit der Radaufhängung gekoppelter Komponenten sich in unterschiedlichen Frequenzbereichen der spektralen Kennkurve niederschlägt.

EP 0 455 993 A2

Die Erfindung betrifft ein verfahren und eine Einrichtung zum Ermitteln und/oder Überwachen des Zustands mindestens einer technischen Komponente eines Kraftfahrzeugs, insbesondere der Reifen hinsichtlich des Reifenluftdruckes und/oder der Stoßdämpfer hinsichtlich von Stoßdämpferdefekten, durch Messen von in das Fahrwerk des Kraftfahrzeugs eingeleiteten Schwingungen an Bauteilen der Radaufhängung relativ zu der Karosserie.

Aus der DE-OS 36 42 590 ist ein Verfahren zum Ermitteln von Betriebszuständen eines Kraftfahrzeuges bekannt, bei dem zum Beispiel mittels eines Drucksensors der Druck einer Feder fortlaufend gemessen wird. Aus den über ein größeres Zeitintervall gebildeten Meßwerten werden einerseits direkt gemittelte Größen wie die Grundfrequenz, andererseits über Fourieranalyse weitere Parameter, wie der Energieinhalt in einem vorgegebenen Frequenzband erfaßt. Daraus wird ein mehrdimensionales Muster gebildet, um durch Vergleich mit charakteristischen Mustern qualitative Aussagen über den jeweiligen Fahrzustand beim Betrieb des Kraftfahrzeuges zu treffen.

Um aber eine bestimmte technische Komponente wie z.B. den Reifendruck während des Fahrbetriebs zu messen, werden in der Regel gesonderte Fühler unmittelbar an der interessierenden technischen Komponente eingesetzt. Beispielsweise wird der Reifendruck mit einem in die Felge eingebauten Druckfühler gemessen, wobei die Energieversorgung des Fühlers wie auch die Signalübertragung des Meßwertes drahtlos, z.B. induktiv, erfolgen, was jedoch aufwendig ist.

Stoßdämpfer eines Kraftfahrzeuges können z.B. nach der DE-PS 30 23 295 im eingebauten Zustand dadurch auf ihre Funktion geprüft werden, daß auf einem Prüfstand die betroffene Radaufhängung mit einem Schwingungserreger in geregelte Schwingungen versetzt wird und anhand der Schwingungsgeschwindigkeit auf die Funktionsfähigkeit des Stoßdämpfers rückgeschlossen wird. Derartige Überprüfungen sind daher abhängig von der Kenntnis der Anregungsfunktion der Schwingungen und von der für die Übertragung der eingeleiteten Schwingungen auf die Bauteile, an denen die Messung durchgeführt wird, jeweils maßgeblichen Übertragungsfunktionen und lassen sich nicht während des Fahrbetriebes des Kraftfahrzeuges durchführen.

Durch die Erfindung wird die Aufgabe gelöst, ein Verfahren und eine Einrichtung eingangs erwähnter Art anzugeben, mit welchen die Ermittlung und/oder Überwachung des Zustands der jeweiligen technischen Komponente auch ohne Kenntnis der jeweiligen Anregungsfunktion der Schwingungen möglich ist.

Dies wird bei dem Verfahren erfindungsgemäß dadurch erreicht, daß Werte von Schwingungen von mit der technischen Komponente gekoppelten Bauteilen unterschiedlicher Radaufhängungen gemessen werden und diese ggf. umgerechneten Meßwerte durch Signalverarbeitung zu charakteristischen Kennwerten kombiniert werden, die mit zuvor in gleicher Weise ermittelten zugeordneten Kennwerten unter Bestimmung von Abweichungen in einem vorbestimmten fahrzeugspezifischen Frequenzbereich verglichen werden.

Bevorzugt werden die ggf. umgerechneten Meßwerte in einen Spektralraum transformiert und zu charakteristischen spektralen Kennwerten kombiniert, die mit zugeordneten spektralen Kennwerten verglichen werden.

Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren werden die aktuellen insbesondere spektralen Kennwerte mit Erfahrungswerten aufgrund zeitlich vorangegangener Messungen verglichen. In Kenntnis der durch Versuche bestimmbar, für die jeweilige technische Komponente, die mit den Radaufhängungen des Kraftfahrzeugs schwingungsmäßig gekoppelt ist, charakteristischen Frequenzen und/oder Frequenzbereiche der Kennkurve lassen sich somit Abweichungen im Zustand der technischen Komponente von einem bekannten Zustand nicht nur feststellen, sondern auch quantitativ bestimmen. Zur Auswertung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es jedoch nicht erforderlich, bei jedem Meßvorgang die gesamte Kennkurve zu generieren. Vielmehr ist es auch möglich, im jeweiligen aktuellen Fall nicht interessierende Frequenzen auszufiltern und daher für die Auswertung auf Einzelkennwerte bei der jeweiligen interessierenden Frequenz oder im jeweiligen interessierenden Frequenzbereich zurückzugreifen.

Jedes der zur Messung herangezogenen Bauteile der Radaufhängungen ist mit der interessierenden technischen Komponente, z.B. dem zugeordneten Reifen, gekoppelt. Die Schwingungs-Anregungsfunktion an dieser technischen Komponente ist über eine aus der Art der Kopplung bestimmte Übertragungsfunktion mit der aus den Meßwerten, die an dem jeweiligen Bauteil abgegriffen werden, gebildeten Meßwertfunktion verknüpft, wobei diese Übertragungsfunktion sämtliche Zustandsinformationen über die jeweils zugeordnete technische Komponente enthält. Andererseits sind die Bauteile unterschiedlicher Radaufhängungen über Karosserie und Fahrbahn auch miteinander gekoppelt, so daß die schwingungsmäßigen Verknüpfungen der erhaltenen Meßwertfunktionen mit der jeweiligen Anregungsfunktion rechnerisch derart miteinander kombiniert werden können, daß die Anregungsfunktionen rechnerisch herausfallen und über ihre Übertragungsfunktionen eine Hilfsübertragungsfunktion definiert wird, die dann ebenfalls sämtliche Zustandsinformationen über die technischen Komponenten, im Beispiel die beiden Reifen der betrachteten beiden Radaufhängungen, enthält. Hierbei können die Anregungsfunktionen in erster Näherung gleichgesetzt werden oder es

kann eine vorbestimmte Zeitverzögerung zwischen ihnen berücksichtigt werden.

Das was vorstehend am Beispiel der Übertragungsfunktionen ausgeführt wurde, läßt sich entsprechend auch auf andere Verknüpfungen, die angewendet werden können, z.B. auf Korrelationen übertragen.

Die Erfindung baut darauf auf, daß aus Schwingungsmessungen an z.B. zwei unterschiedlichen Radaufhängungen insbesondere durch Transformation der ggf. umgerechneten Meßwerte der Schwingungen von mit der interessierenden technischen Komponente gekoppelten Bauteilen in einen Spektralraum und durch eine rechnerische derartige Kombination der transformierten Meßwerte, daß die jeweiligen Anregungsfunktionen rechnerisch herausfallen, fahrzeugspezifisch frequenzabhängige Kennkurven erhalten werden können, in welchen die Amplituden der Meßgröße in einem für die interessierende technische Komponente spezifischen begrenzten Frequenzbereich von deren Zustand abhängig sind, in anderen Frequenzbereichen dieser Kennkurven jedoch nicht. Dies eröffnet die Möglichkeit, in dem gleichen Meßvorgang den Zustand auch mehrerer technischer Komponenten aufgrund der Abweichungen der Kennkurve in unterschiedlichen, für die jeweilige technische Komponente charakteristischen Frequenzbereichen wenigstens qualitativ, jedoch auch quantitativ zu ermitteln. Beispielsweise hat sich gezeigt, daß der für den Zustand der Stoßdämpfer charakteristische Frequenzbereich deutlich unter dem für den Reifendruck charakteristischen Frequenzbereich liegt und diese Frequenzbereiche unabhängig von der jeweiligen Fahrgeschwindigkeit sind. Eine Radunwucht hingegen äußert sich in verschiedenen charakteristischen schmalbandigen Extremwerten der Kennkurve, deren Lage fahrgeschwindigkeitsabhängig ist, so daß zur Bestimmung der Radunwucht zusätzlich die jeweilige Fahrgeschwindigkeit zu berücksichtigen ist.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kommt es somit nicht darauf an, ob die Schwingungsanregung gezielt mit deterministischer Anregungsfunktion, deren Verlauf bekannt ist, oder stochastisch erfolgt, da das Verfahren auch ohne Kenntnis der Anregungsfunktion durchgeführt werden kann. Hierdurch ist das erfindungsgemäße Verfahren unabhängig von hinsichtlich der Schwingungsform vorbestimmten Meßbedingungen und kann daher sowohl auf einem Prüfstand bei stochastischer oder nichtstochastischer Schwingungsanregung als auch im stochastischen Fahrbetrieb des Kraftfahrzeugs durchgeführt werden.

Die Erfindung macht von einer Multisensorsignalverarbeitung Gebrauch, wobei auf bereits am Kraftfahrzeug vorhandene oder zusätzlich eingebaute Meßfühler zurückgegriffen wird. Die Messungen können während des normalen Fahrbetriebs, aber auch an einem Prüfstand durchgeführt werden, wobei es aber im letzteren Fall erfindungsgemäß nicht auf bestimmte Anregungsfunktionen ankommt. Es ist im letzteren Fall auch möglich, die Meßfühler erst am Prüfstand an den betreffenden Radaufhängungen anzubringen. Für beide Fälle gilt, daß mindestens zwei Meßfühler an unterschiedlichen Radaufhängungen erforderlich sind, daß jedoch bei multisensorieller Verarbeitung der Signale von mehr als zwei Meßfühlern ggf. deutlichere und genauere Ergebnisse erzielt werden können.

Bevorzugt werden gegenwärtig Messungen an einer oder beiden vorderen und einer oder beiden hinteren Radaufhängungen, wenngleich auch unterschiedliche Radaufhängungen an unterschiedlichen Fahrzeugseiten für die Messungen infrage kommen können. Bei Messungen an beiden Fahrzeugseiten oder Messungen an den vorderen oder den hinteren Radaufhängungen kann das erfindungsgemäße Verfahren für die beiden Fahrzeugseiten bzw. die vorderen und die hinteren Radaufhängungen jeweils gesondert oder aber auch gemeinsam durchgeführt werden.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren werden die Meßwerte, die an den unterschiedlichen Radaufhängungen gewonnen werden, aufgrund von in die Räder dieser Radaufhängungen eingeleiteten Schwingungen miteinander verknüpft, so daß im Ergebnis eine Aussage über den Gesamtzustand mehrerer überprüfter technischer Komponenten, z.B. zweier Reifen oder Stoßdämpfer einer Fahrzeugseite erhalten wird. Um Aussagen über den Zustand einzelner Baugruppen zu ermöglichen, können weitere Sensoren, z.B. am oberen Federbeindomende, angebracht und deren Meßsignale zusätzlich im Sinne der Erfindung ausgewertet werden.

Jedoch ist es in Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens auch möglich, die Zustandsänderung eines Einzelgliedes der technischen Komponente, z.B. den Luftdruck eines bestimmten Reifens, zu erkennen und ggf. auch quantitativ zu ermitteln, wenn zusätzlich eine Modellidentifikation mittels der an der jeweils zugeordneten Radaufhängung gewonnenen Einzelmeßwerte durchgeführt wird. Dies ist beispielsweise über das sogenannte AR(autoregressive)-Signalmodell möglich, mit welchem über eine Linearkombination von Meßwerten aus der Vergangenheit ein zukünftig auftretender Meßwert ohne Kenntnis des Eingangssignals vorhergesagt wird. Durch Vergleichen des tatsächlichen Meßwertes mit dem vorhergesagten Meßwert oder durch laufende Überwachung (Trendanalyse) der Modellparameter kann dann unter Benutzung des Ergebnisses der multisensoriellen Signalverarbeitung auf das Vorhandensein und auch die Größe der Abweichung des Zustands des Einzelgliedes von demjenigen der anderen Einzelglieder der technischen Komponente gefolgert werden.

Der zu überwachende Zustandsparameter der technischen Komponente, z.B. der Druck in einem

Reifen, wird erfindungsgemäß nicht selbst gemessen. Vielmehr kann von einer leichter zugänglichen Meßgröße ausgegangen werden, z.B. der Vertikalbeschleunigung an der Radachse und/oder dem Weg oder der Geschwindigkeit z.B. der Radachse gegenüber der Karosserie, die mittels entsprechender Sensoren erfaßt werden können. Allgemein gilt, daß die Signale wenigstens zweier Fühler an unterschiedlichen Radaufhängungen vorliegen. Jedoch wird es bei Benutzung von mehr als zwei Fühlern einfacher, insbesondere mehrere technische Komponenten zu überwachen. Beispielsweise ist es günstig, zur Zustandsermittlung der Stoßdämpfer zusätzliche Fühler z.B. am Federbeindomende mitzubenützen.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können prinzipiell alle technischen Komponenten des Kraftfahrzeugs, die von einer Anregungsquelle angeregt werden und mit den Radaufhängungen schwingungsmäßig gekoppelt sind, überprüft werden, wobei es auf die Art der Anregungsquelle nicht ankommt, da eine Kenntnis der Anregungsfunktionen nicht erforderlich ist. Außer der Überprüfung von Reifen hinsichtlich des Reifendrucks, von Stoßdämpfern hinsichtlich vorhandener Defekte und von Rädern hinsichtlich vorhandener Reifenunwuchten lassen sich daher z.B. auch andere Fahrwerkskomponenten sowie Lenkungs-komponenten und bestimmte Komponenten am Motor und Getriebe erfindungsgemäß überprüfen.

Bei der erfindungsgemäßen Signalverarbeitung handelt es sich insbesondere um eine digitale Signalverarbeitung. Die erfindungsgemäße Einrichtung weist außer den Meßfühlern eine Datenverarbeitungseinrichtung mit einem die Signalverarbeitung nach vorbestimmten Algorithmen durchführenden Rechner, einen Speicher für in früheren Zeitpunkten gewonnene Meßwerte und Rechenergebnisse sowie eine ggf. adaptive Komparatoreinrichtung, die auch durch den Rechner verwirklicht sein kann, zum Vergleichen der aktuellen und der früheren Meßwerte bzw. Rechenergebnisse auf. Es können entsprechende Warn- und/oder Anzeigemittel zum Übermitteln der gewonnenen Information an den Fahrzeugfahrer bzw. an den Prüfer bei der Überprüfung dem Kraftfahrzeugs auf dem Prüfstand angeschlossen sein. Zusätzlich oder alternativ ist es auch möglich, die gewonnenen Informationen in einem auslesbaren Speicher festzuhalten, damit sie z.B. bei einer Werkstattdiagnose verwendet werden können.

Die Erfindung wird anhand eines beispielgebenden Modells und der Zeichnung erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 den prinzipiellen Aufbau eines Kraftfahrzeuges mit den Meßstellen und den Übertragungsfunktionen, die bei dem Ausführungsbeispiel verwendet werden,

Fig. 2 ein Aufbauschema einer Einrichtung zur Ermittlung der entsprechenden Parameter,

Fig. 3 ein Beispiel einer spektralen Kennkurve für verschiedene Zustände zweier unterschiedlicher technischer Komponenten und die Auswirkungen dieser Zustände in charakteristischen Frequenzbereichen

Fig. 4 den prinzipiellen Aufbau eines Kraftfahrzeuges mit den Meßstellen und den Übertragungsfunktionen, die bei dem konkreten Ausführungsbeispiel zur Reifenluftdruckbestimmung bzw. -überwachung verwendet werden,

Fig. 5 ein Ersatzschaltbild für das in Fig. 4 gezeigte System und

Fig. 6 den Mittelwert der Übertragungsfunktion im Bereich 15 Hz bis 35 Hz in Abhängigkeit des Reifenluftdrucks für vier Geschwindigkeiten.

In Fig. 1 ist schematisch ein Kraftfahrzeug mit der Karosserie K dargestellt, die über Stoßdämpfer D1, D2 und Federn auf den Vorderrädern 1 mit den Reifen R1 und auf den Hinterrädern 2 mit den Reifen R2 abgestützt ist. Das Fahrzeug bewegt sich mit der Geschwindigkeit v auf einer Straße F. An den Radachsen der Räder 1 und 2 detektieren die Sensoren DET1 und DET2 z. B. die Vertikalbeschleunigung der Radachsen aufgrund der Schwingungen, die bereits von kleinen Unebenheiten der Straße F ständig, jedoch stochastisch angeregt werden und die über die Stoßdämpfer D1, D2 und die Federn auch auf die Karosserie K übertragen werden. Am oberen Federbein-Domende des Vorderrad-Stoßdämpfers D1 kann ein entsprechender Sensor DET3 ebenfalls z. B. die Vertikalbeschleunigung der Karosserie messen, während ein weiterer Sensor DET4 z. B. die Vertikalbeschleunigung am oberen Federbein-Domende des Hinterrad-Stoßdämpfers D2 detektieren kann.

Zur Überwachung der Dämpfer, der Radunwucht und des Reifenluftdruckes sind jedoch die Detektoren DET3 und DET4 nicht unbedingt erforderlich. Es können aber auch weitere Sensoren eingesetzt werden, um für die Signalverarbeitung zusätzliche Signale bereitzustellen und weitere Fahrzeugkomponenten, insbesondere Fahrwerkskomponenten, Lenkungs-komponenten, den Motor, den Antrieb bzw. das Getriebe oder auch das ganze Lenksystem zu überwachen.

Die verschiedenen Sensorsignale können in einem Vierkanalverfahren simultan, aber darüber hinaus auch selektiv verarbeitet werden. Ein Beispiel einer Einrichtung mit einer entsprechenden Signalverarbeitungseinheit ist in Fig. 2 schematisch dargestellt. In Fig. 2 wird wie in Fig. 1 davon ausgegangen, daß der Zustand der Reifen R1, R2 und der Stoßdämpfer D1, D2 als technische Komponenten mit Hilfe der Sensoren DET1 bis DET4 überprüft werden sollen. Die auf den Hinterreifen R2 wirkende Schwingungsanregung A2 ist entsprechend der Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeugs zeitversetzt gegen die auf den Vorderrei-

fen R1 einwirkende Schwingungsanregung A1, was durch die Verkopplung V1 angegeben ist. Mit V2 und V3 sind die Verkopplungen der Sensoren DET1 und DET2 bzw. DET3 und DET4 über die Karosserie angegeben. Die Meßsignale der Sensoren werden über einen Verstärker 3, einen Filter 4 und einen A/D-Wandler 5 in einen Rechner 6 eingelesen, in welchem die weiter oben beschriebene Signalverarbeitung nach einem im Rechner 6 gespeicherten Algorithmus erfolgt. An den Rechner 6 ist ein Speicher 7 angeschlossen, in dem die Meßsignale und die Rechenergebnisse früherer Signalverarbeitungen gespeichert sind. Ferner ist in dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 2 an den Rechner ein Display 8 angeschlossen, um einen Meßwert für die jeweiligen Parameterwerte oder ein Warnsignal für das Auftreten eines Defektes anzuzeigen. Es können aber auch andere Mittel vorgesehen sein, um durch Vergleich der im Rechner ermittelten charakteristischen Parameter mit entsprechenden Eichwerten einen geeigneten Eingriff in den Betrieb des Fahrzeuges auszulösen.

In Fig. 3 ist in Prinzipdarstellung eine fahrzeugspezifische spektrale Kennkurve gezeigt, die durch die multisensorielle Signalverarbeitung erhalten werden kann. Die Kennkurve weist fahrzeuggeschwindigkeitsunabhängig vorbestimmte Frequenzbereiche auf, die für den Zustand jeweils einer der überprüften technischen Komponenten charakteristisch sind. Im dargestellten Ausführungsbeispiel sind dies der Frequenzbereich D, in dem der Kurvenverlauf von dem Zustand der Stoßdämpfer abhängig ist, und der deutlich oberhalb des Frequenzbereiches D ohne dessen Überlappung liegende Frequenzbereich R, dessen Kurvenverlauf von dem Luftdruck der Reifen abhängt. Die gestrichelte Linie für den Frequenzbereich D gibt eine weichere Dämpfercharakteristik an, wohingegen die strichpunktierte Linie für den Frequenzbereich R einen geringeren Reifenluftdruck anzeigt. Hingegen sind Zustandsänderungen der jeweiligen überwachten technischen Komponente außerhalb des jeweiligen, für diese charakteristischen Frequenzbereiches nicht oder nicht wesentlich von Einfluß auf den Verlauf der Kennkurve, so daß deutlich unterscheidbare Auswertekriterien für den Zustand mehrerer unterschiedlicher technischer Komponenten vorliegen, die gleichzeitig über gemeinsame indirekte Messungen überprüft werden können.

Im folgenden werden die einzelnen Verfahrensschritte des erfindungsgemäßen Verfahrens anhand eines Ausführungsbeispieles zur Reifenluftdruckbestimmung bzw. -überwachung im Detail beschrieben. Ferner soll gezeigt werden, wie auf analoge Weise der Zustand der Stoßdämpfer eines Fahrzeuges überwacht bzw. evtl. vorhandene Unwuchten in den Rädern festgestellt werden können.

Ein Ziel der Erfindung ist es also, aus den an den Radachsen eines Kraftfahrzeuges gemessenen Vibrationssignalen die Luftdrücke der Reifen und evtl. vorhandene Unwuchten zu messen, sowie den Zustand der Stoßdämpfer zu überprüfen. Es wird ein "indirektes Meßverfahren" vorgestellt, bei dem z. B. bei der Ermittlung des Reifenluftdruckes kein Drucksensor zur Messung erforderlich ist. Aus den an der Radachse und der Karosserie des Fahrzeuges gemessenen Vibrationen können weiterhin auf eine unabhängige Art und Weise die Stoßdämpfer des Fahrzeuges überwacht werden.

Prinzipiell kann jedes technische System durch seine Übertragungsfunktion $h(t)$ beschrieben werden. Typische Systeme sind Elektronikkomponenten wie Hoch-, Tiefpaß, aber auch mechanische Systeme, insbesondere Schwingungsbeanspruchte wie Räder, Reifen und Federn. Wird das System eingangsseitig mit einer zeitabhängigen Funktion $u_a(t)$ beaufschlagt (angeregt), so erhält man am Ausgang ein zeitabhängiges Signal $u_s(t)$. Der Zusammenhang beider Signale ist durch die Übertragungsfunktion $h(t)$ gegeben.

Mathematisch wird der Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangssignal durch ein Faltungsintegral beschrieben:

$$u_s(t) = h(t) * u_a(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(x) u_a(t-x) dx \quad (1)$$

Eine äquivalente Beschreibung des Systems kann im Spektralbereich gegeben werden. Der Zusammenhang zwischen Zeit- und Spektralbereich ist allgemein durch eine Integraltransformation (Fourier-, Laplace, Z-Transformation,...) gegeben. Mit Hilfe der Fouriertransformation werden die Zusammenhänge im folgenden dargestellt.

Die Fouriertransformation und deren inverse Transformation sind wie folgt definiert:

$$U_o(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} u_o(t) e^{-i\omega t} dt \quad (2a)$$

$$u_o(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} U_o(\omega) e^{+i\omega t} d\omega \quad (2b)$$

Der Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangssignal ist im Spektralbereich durch eine einfache Multiplikation gegeben:

$$U_a(\omega) = H(\omega) U_o(\omega) \quad (3a)$$

Damit ist eine Möglichkeit, die Übertragungsfunktion in der Praxis zu bestimmen, gegeben. Man misst sowohl Eingangs- als auch Ausgangssignal, transformiert beide in den Spektralbereich (Gleichung 2a) und errechnet die Übertragungsfunktion durch einfache Division:

$$H(\omega) = \frac{U_a(\omega)}{U_o(\omega)} \quad (3b)$$

Durch eine Veränderung an einer technischen Komponente wird die Übertragungsfunktion geändert. Durch Beobachten der Übertragungsfunktion kann mit Hilfe auftretender Änderungen die Komponente überwacht werden. Bei dieser Art der Überwachung wird man insbesondere unabhängig vom Verlauf und der Form der Anregungsfunktion, sofern diese im relevanten Spektralbereich von null verschieden ist.

Alle angegebenen Gleichungen müßten für zeitdiskrete Signale und frequenzdiskrete Spektren angegeben werden. Auf diese Darstellung soll jedoch verzichtet werden, da die zeitkontinuierliche Darstellung meist sehr viel anschaulicher ist.

Im konkreten Anwendungsbeispiel soll der Reifenluftdruck aus den an den Radachsen auftretenden Beschleunigungen, also ohne Verwendung eines Drucksensors, ermittelt werden. Dazu wird je ein Beschleunigungsaufnehmer pro Achse angebracht. Die beispielsweise bei einer Schwellenüberfahrt, aber auch bei stochastischer Schwingungsanregung durch eine normale Fahrbahn auftretenden Beschleunigungen werden an den Radnaben der Vorder- und Hinterachse des Fahrzeuges gemessen.

Fig. 4 zeigt schematisch die verwendeten Sensoren und die für die Berechnung des Reifenluftdrucks wichtigen Übertragungsfunktionen.

Ein Ersatzschaltbild für das in Fig. 4 gezeigte System ist in Fig. 5 dargestellt.

H_1 repräsentiert die Übertragungsfunktion von der Straße zur vorderen Radachse, an der der Sensor 1 die auftretenden Schwingungssignale mißt. H_2 stellt die Übertragungsfunktion von der Straße zur hinteren Radachse dar, wo ebenfalls die Schwingungen gemessen werden. H_3 stellt abstrakt die Übertragungsfunktion der Straße dar. Diese repräsentiert die Zeitverzögerung, mit der das Hinterrad dieselbe Stelle der Straße überfährt wie zuvor das Vorderrad. Diese Zeitverzögerung hängt von der Fahrgeschwindigkeit und dem Radstand des Fahrzeuges ab. H_4 ist die für die Reifenluftdruckbestimmung relevante Übertragungsfunktion. Diese verbindet formal die Radachse vorn mit der Radachse hinten und ist physikalisch in komplexer und komplizierter Form über die Karosserie realisiert.

Die Übertragungsfunktion H_4 zwischen Radachse vorn und Radachse hinten kann aus den beiden Sensorsignalen unter Berücksichtigung der geschwindigkeitsabhängigen Zeitverzögerung zwischen Vorder- und Hinterrad mit Hilfe der Gleichung 3b berechnet werden. Wie daraus der Reifenluftdruck bestimmt wird, wird weiter unten gezeigt.

Wird ein Fahrzeug auf einer beliebigen Straße gefahren, so ist die Anregung des Reifens durch die Oberfläche der Straße nur sehr schwierig meßbar, so daß die Übertragungsfunktion H_1 selbst nicht ohne

weiteres bestimmt werden kann.

Die vorliegende Erfindung macht es insbesondere möglich, von der unbekannten Anregungsfunktion der Straße unabhängig zu werden. Dazu ist nur noch die Fahrzeuggeschwindigkeit zu messen und die Kenntnis des Radstandes notwendig. Für die gemessenen Signale U_{a1} und U_{a2} gelten im Spektralbereich folgende Beziehungen, was insbesondere dem Ersatzschaltbild von Fig. 5 zu entnehmen ist:

$$\begin{aligned} U_{a1} &= H_1 U_e \\ U_{a2} &= H_2 U_{ex} = H_2 H_5 U_e \end{aligned}$$

Damit läßt sich die Übertragungsfunktion H_6 aus den gemessenen Beschleunigungen an den Radachsen ohne Kenntnis der Anregung ermitteln:

$$H_6 = \frac{U_{a2}}{U_{a1}} = \frac{H_2 H_5 U_a}{H_1 U_a} = \frac{H_2 H_5}{H_1} \quad (4)$$

Diese Übertragungsfunktion H_6 wird zur Reifenluftdruckbestimmung für einen bestimmten charakteristischen Frequenzbereich von beispielsweise 15 Hz bis 35 Hz vorzugsweise in digitaler Form berechnet. Als Kriterium für den Reifenluftdruck wird dann der Mittelwert des Betrages dieser Übertragungsfunktion H_6 in diesem charakteristischen Frequenzbereich bestimmt.

Untersuchungen haben gezeigt, daß der in dem für den Reifenluftdruck charakteristischen Frequenzbereich ermittelte Mittelwert des Betrages der Übertragungsfunktion H_6 weitgehend unabhängig von der Fahrzeuggeschwindigkeit nahezu linear vom Reifenluftdruck abhängt. Dieser Zusammenhang ist in Fig. 6 dargestellt. Auf diese Weise kann der Reifenluftdruck indirekt mit einer Genauigkeit von etwa 0,2 bar aus dem Mittelwert des Betrages der Übertragungsfunktion H_6 und damit wie vorstehend dargelegt aus den gemessenen Beschleunigungen an den Radnaben der Vorder- und Hinterachse des Fahrzeuges ermittelt werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist unabhängig von der Art der Anregung, so daß es nicht nur bei definierter Schwingungsanregung, sondern auch bei stochastischer Anregung durch eine normale Straße funktioniert.

Obwohl das vorstehend beschriebene Verfahren prinzipiell auch bei analoger Signalverarbeitung funktioniert, ist dennoch anzumerken, daß die in der Praxis erwünschte Genauigkeit nur bei digitaler Signalverarbeitung zu erreichen ist.

Der Zustand der Stoßdämpfer eines Fahrzeuges kann analog der Reifenluftdruckbestimmung mit Hilfe der vorstehend beschriebenen Übertragungsfunktion H_6 überwacht werden. D. h., alle Schritte des Verfahrens laufen identisch ab. Lediglich bei der Auswertung wird der Mittelwert der Übertragungsfunktion H_6 für den für die Stoßdämpferfunktion charakteristischen Frequenzbereich von beispielsweise 8 Hz bis 14 Hz ermittelt. Dieser Frequenzbereich ist abhängig vom Fahrzeug und den verwendeten Dämpfern.

Das Feder/Dämpfersystem mit den entsprechenden Befestigungen läßt sich selbstverständlich auch durch die Übertragungsfunktion von einem Ende bis zum anderen Ende des Feder-Dämpfersystems beschreiben. Ändert sich dabei die Dämpfungskraft, läßt also beispielsweise die Dämpfungskraft nach, so ändert sich auch die Übertragungsfunktion des Systems. Damit läßt sich der Dämpferzustand sehr präzise überwachen.

Ferner läßt sich die Funktion von verstellbaren Stoßdämpfern im Fahrzeug überprüfen. Über das (meist) elektrische Signal des Steuergerätes zur Dämpfungkraftverstellung ist der Zeitpunkt bekannt, zu dem das entsprechende Ventil im Dämpfer schalten soll. Ob das Ventil geschaltet hat und ob tatsächlich die Dämpfungskraft sich ändert, kann leicht durch Veränderungen in den entsprechenden Übertragungsfunktionen festgestellt werden. Somit lassen sich auf diese Weise auch variable Dämpfersysteme überwachen.

Aus jedem Einzelsignal, beispielsweise Beschleunigungssignal an der Radachse, aber auch am Federbein-Domende, kann darüber hinaus nach der Transformation in den spektralen Bereich unter Berücksichtigung der Fahrzeuggeschwindigkeit und der Reifengröße erkannt werden, ob im Rad, im Reifen oder in der Aufhängung eine Unwucht vorhanden ist. Diese macht sich im Spektrum als scharfe Linie bemerkbar und die Amplitude ist ein Maß für die Größe der Unwucht. Von anderen Linien im Spektrum, die beispielsweise durch Eigenvibration und/oder Störungen hervorgerufen werden, ist sie gut zu unterscheiden, da ihre Frequenz in definierter Weise, d. h. abhängig vom Reifenumfang geschwindigkeitsproportional ist.

Durch Auswertung dieser Eigenschaft ist dann auch eine sichere Unwuchtklassifikation möglich.

Bei den vorstehend beschriebenen Anwendungsbeispielen hat sich das Konzept der Zustandsüberwachung einer mechanischen Komponente mit Hilfe der Überwachung einer geeignet gewählten Übertragungsfunktion in der Praxis bereits bestens bewährt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Ermitteln und/oder Überwachen des Zustands mindestens einer technischen Komponente eines Kraftfahrzeugs, insbesondere der Reifen hinsichtlich des Reifenluftdruckes und/oder der Stoßdämpfer hinsichtlich von Stoßdämpferdefekten, durch Messen von in das Fahrwerk des Kraftfahrzeugs eingeleiteten Schwingungen an Bauteilen der Radaufhängung relativ zu der Karosserie, dadurch gekennzeichnet, daß Werte der insbesondere stochastisch angeregten Schwingungen von mit der technischen Komponente gekoppelten Bauteilen unterschiedlicher Radaufhängungen gemessen werden und diese ggf. umgerechneten Meßwerte durch Signalverarbeitung zu charakteristischen Kennwerten kombiniert werden, die mit zuvor in gleicher Weise ermittelten zugeordneten Kennwerten unter Bestimmung von Abweichungen in einem vorbestimmten fahrzeugspezifischen Frequenzbereich verglichen werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die ggf. umgerechneten Meßwerte nach Transformation in einen Spektralraum zu charakteristischen spektralen Kennwerten kombiniert werden, die mit zuvor in gleicher Weise ermittelten zugeordneten spektralen Kennwerten verglichen werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Kennwerte die kombinierten Energien der Meßsignale in einem fahrzeugspezifischen Frequenzbereich durch Filterung ermittelt werden.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Kennwerte Modellparameter der Einzelsignale oder daraus gewonnene höhere Merkmale verwendet werden.
5. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere spektrale Kennwerte ermittelt werden, die zur Überprüfung mehrerer unterschiedlicher technischer Komponenten in mehreren unterschiedlichen vorbestimmten Frequenzbereichen, die jeweils für eine der technischen Komponenten charakteristisch sind, auf Abweichungen untersucht wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß sich den spektralen Kennwerten überlagernde schmalbandige Extrema, die für den Zustand einer bestimmten technischen Komponente charakteristisch sind und deren Frequenzlage mit der Fahrgeschwindigkeit des Kraftfahrzeuges variiert, nach ihrer Erfassung und Korrelation mit der Fahrgeschwindigkeit ausgeblendet werden, bevor die jeweils charakteristischen Frequenzbereiche überprüft werden.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die gemessenen Werte jedes der Bauteile parallel zu ihrer Kombination einer Trendanalyse hinsichtlich auftretender charakteristischer Abweichungen unter Ermittlung derjenigen Einzelglieder der technischen Komponente, deren Zustand für das Auftreten der Abweichungen in dem vorbestimmten fahrzeugspezifischen Frequenzbereich verantwortlich ist, unterzogen werden.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß aus den Abweichungen in dem vorbestimmten fahrzeugspezifischen Frequenzbereich eine optische und/oder akustische Warnfunktion generiert und zur Anzeige gebracht wird.
9. Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 zur Erfassung des Reifendruckes und/oder der Dämpferkennlinie der Stoßdämpfer und/oder einer Reifen-/Radunwucht und/oder des Zustands von Federelementen.
10. Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9, gekennzeichnet durch mindestens zwei Meßgeber an unterschiedlichen Radaufhängungen sowie eine Datenverarbeitungseinrichtung mit einem die Signalverarbeitung nach vorbestimmten Algorithmen durchführenden Rechner, einem Speicher für zu früheren Zeitpunkten gesammelte Meßwerte und Rechenergebnisse, und einer Komparatoreinrichtung zum Vergleichen der aktuellen Meßwerte bzw. Rechenergebnisse mit früheren

Meßwerten bzw. Rechenergebnissen.

5

10

15

20

25

30

35

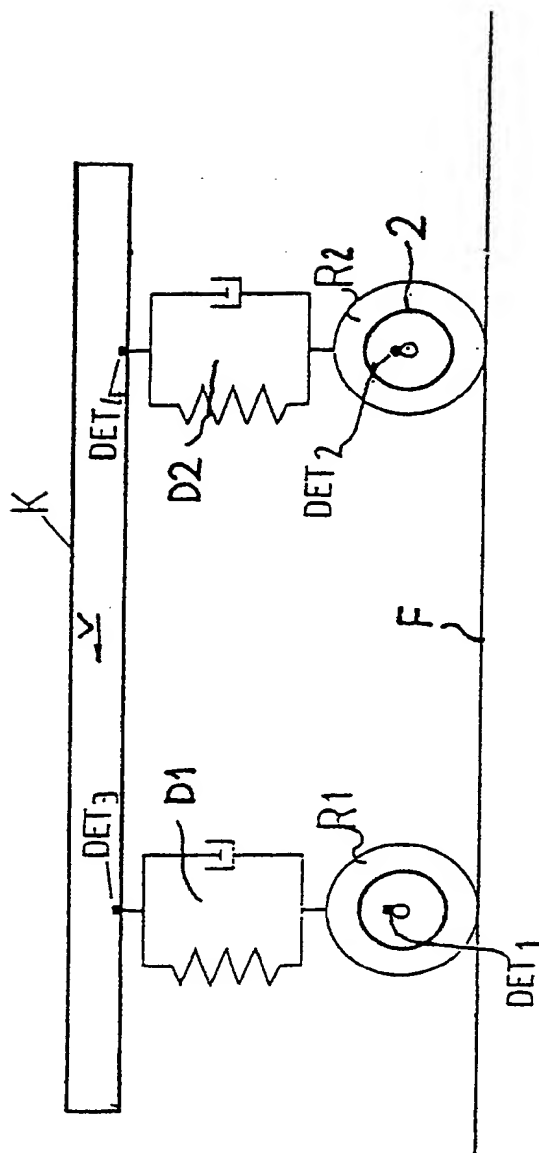
40

45

50

55

FIG. 1



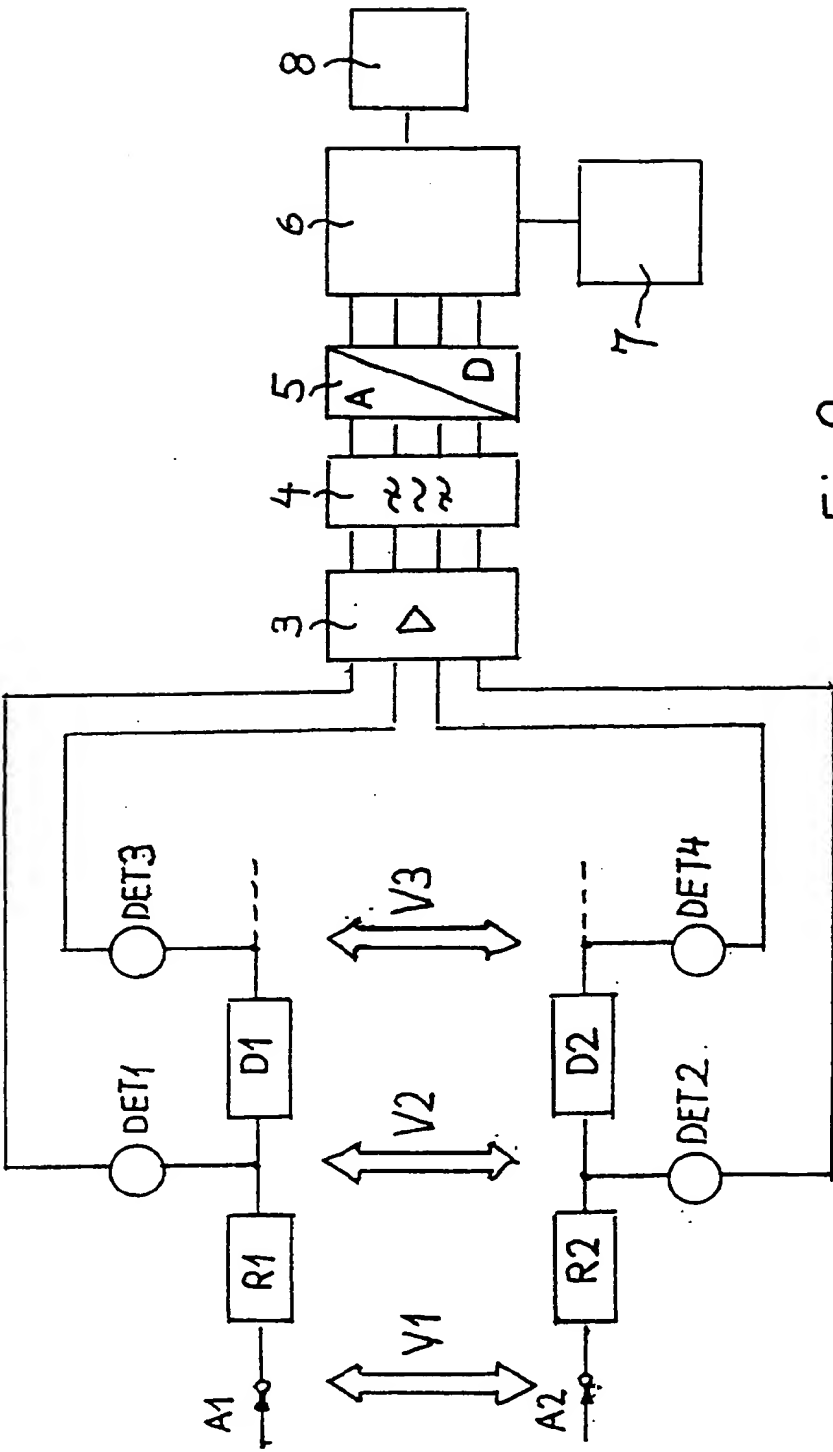


Fig.2

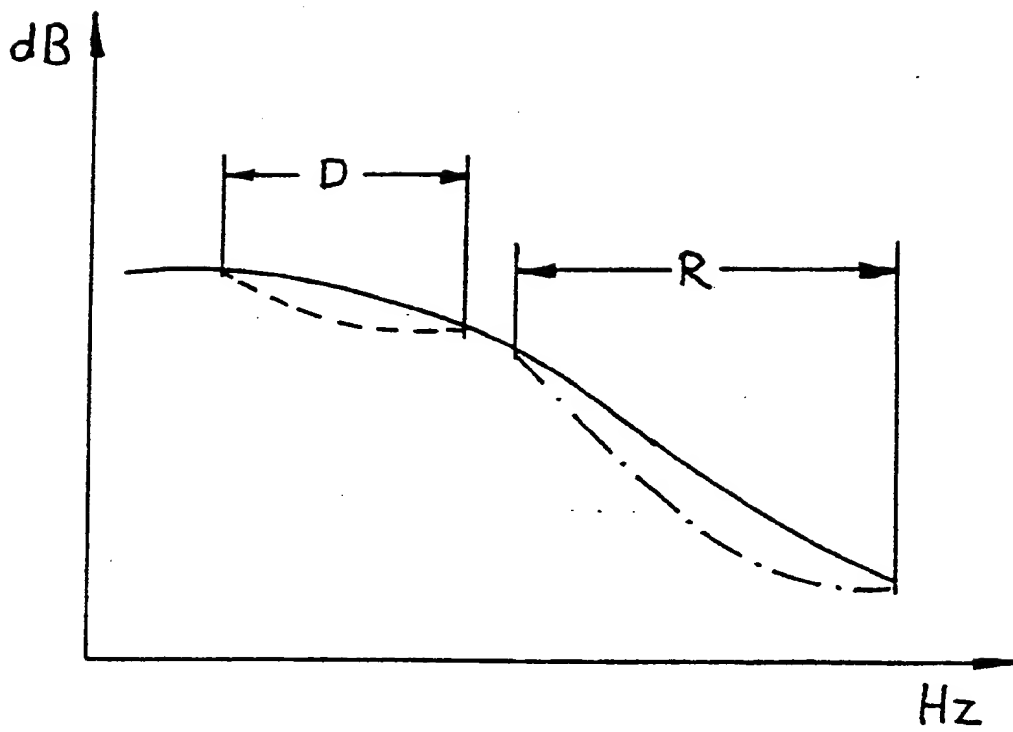


Fig.3

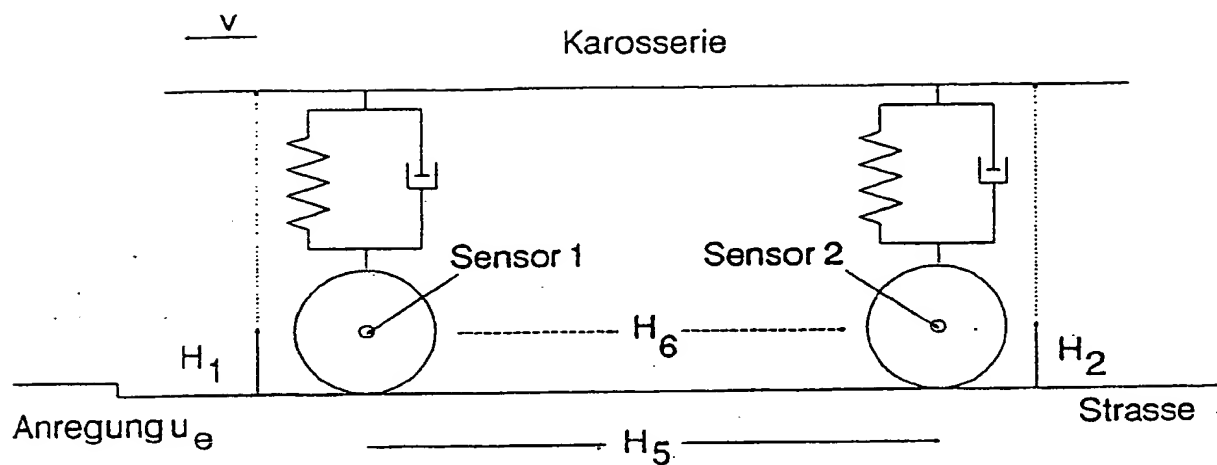


Fig. 4

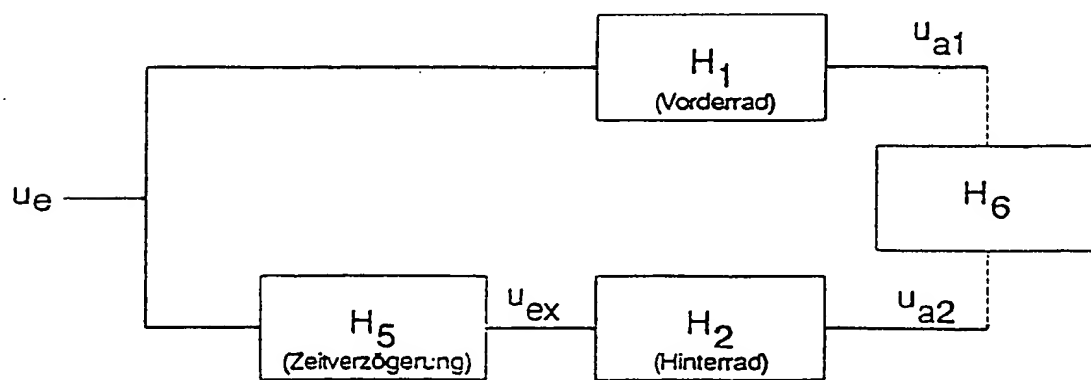


Fig. 5

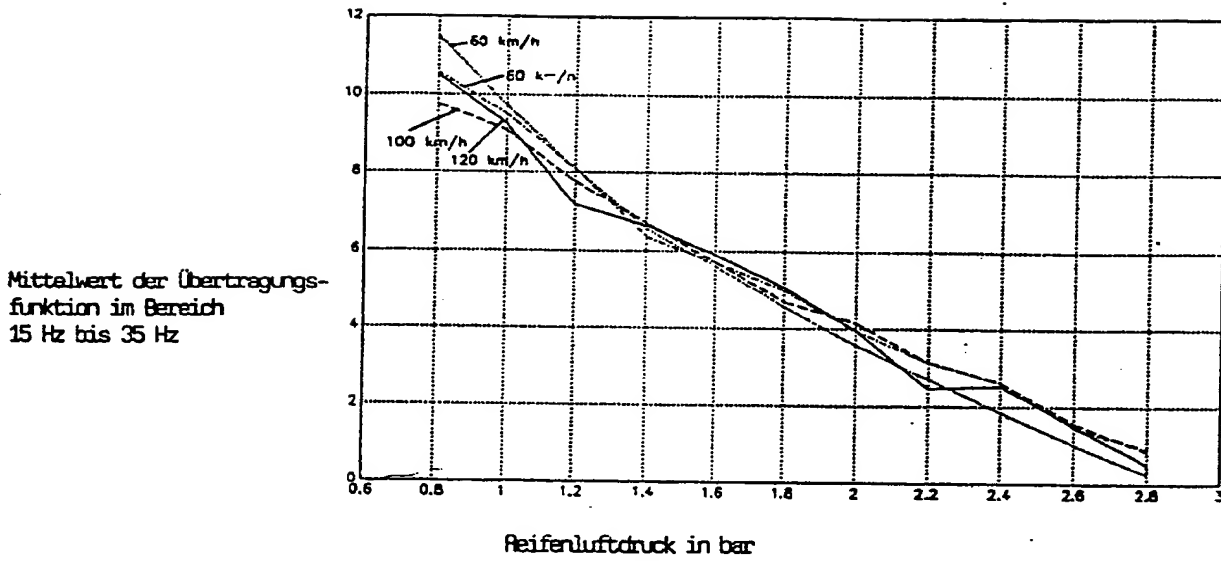


Fig. 6

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) Veröffentlichungsnummer: **0 455 993 A3**

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: **91105556.4**

(51) Int. Cl.⁵: **B60G 17/01, B60G 23/00**

(22) Anmeldetag: **08.04.91**

(30) Priorität: **09.05.90 DE 4014876**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
13.11.91 Patentblatt 91/46

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE ES FR GB IT SE

(88) Veröffentlichungstag des später veröffentlichten
Recherchenberichts: **22.07.92 Patentblatt 92/30**

(71) Anmelder: **Bayerische Motoren Werke
Aktiengesellschaft
Patentabteilung AJ-3 Postfach 40 02 40
Petuelring 130
W-8000 München 40(DE)**

(72) Erfinder: **Hoppstock, Reiner, Dr.-Ing.**

**Am Stiftsbogen 59
W-8000 München 70(DE)
Erfinder: Schindler, Volker, Dr.
Max-Halbe-Strasse 14
W-8044 Unterschleißheim(DE)
Erfinder: Appel, Ulrich, Prof. Dr. Ing.
Klem-Pauli-Weg 8
W-8014 Neubiberg(DE)
Erfinder: Hohnheiser, Franz
Tutzing Strasse 2
W-8000 München 70(DE)**

(74) Vertreter: **Dirscherl, Josef
c/o Bayerische Motoren Werke
Aktiengesellschaft, Patentabteilung AJ-3,
Postfach 40 02 40, Petuelring 130
W-8000 München 40(DE)**

(54) **Verfahren und Einrichtung zum Ermitteln und/oder Überwachen des Zustands einer technischen Komponente eines Kraftfahrzeugs.**

(57) Verfahren und Einrichtung zum Ermitteln und/oder Überwachen des Zustands einer technischen Komponente eines Kraftfahrzeugs, insbesondere der Reifen hinsichtlich des Reifenluftdruckes und/oder der Stoßdämpfer hinsichtlich von Stoßdämpferdefekten, durch Messen von in das Fahrwerk des Kraftfahrzeugs eingeleiteten Schwingungen an Bauteilen der Radaufhängung relativ zu der Karosserie. Zur Erschließung der Möglichkeit, den Zustand der technischen Komponente während des Fahrbetriebs, jedoch ohne Meßfühler an dieser selbst zu ermitteln, wird davon Gebrauch gemacht, daß der Zustand z.B. der Reifen sich auf das Schwingungsverhalten der Bauteile der Radaufhängungen auswirkt. Um Änderungen dieses Schwingungsverhaltens zu erfassen, werden Werte der insbesondere stochastisch angeregten Schwingungen von mit der technischen Komponente gekoppelten Bauteilen unterschiedlicher Radaufhängungen gemessen und diese ggf. umgerechneten Meßwerte nach Transformation in einen Spektralraum zu cha-

rakteristischen spektralen Kennwerten kombiniert, die mit zuvor in gleicher Weise ermittelten zugeordneten spektralen Kennwerten unter Bestimmung von Abweichungen in einem vorbestimmten fahrzeugspezifischen Frequenzbereich verglichen werden. Es wurde gefunden, daß der Zustand unterschiedlicher, mit der Radaufhängung gekoppelter Komponenten sich in unterschiedlichen Frequenzbereichen der spektralen Kennkurve niederschlägt.

EP 0 455 993 A3



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 91 10 5556

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5)
X	DE-A-2 905 931 (DAIMLER-BENZ AG) * das ganze Dokument *	1, 8, 9	B60G17/01 B60G23/00
Y	---	2-7, 10	
D, Y	DE-A-3 642 590 (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG) * das ganze Dokument *	2-7, 10	
X	WO-A-8 803 878 (CATERPILLAR INC.) * Seite 4, Zeile 32 - Seite 30, Zeile 23; Abbildungen 1-9B *	1, 9	
A	---	2, 3, 6-8, 10	
A	US-A-4 574 267 (T.O. JONES) ---		
A	WO-A-8 808 593 (F.H. LEHN) -----		
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.5)
			B60G B60C G01D G01M G06F
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 29 MAI 1992	Prüfer VAN DER VEEN F.
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			
T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument ----- A : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 1501 (11.92) (P0400)